

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-119186

(43)Date of publication of application : 30.04.1999

(51)Int.Cl.

G02F 1/13
G02B 5/28
G02F 1/1333

(21)Application number : 10-211029

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

(22)Date of filing : 27.07.1998

(72)Inventor : MATSUMOTO SHIRO
SAKATA SEIZO
SUGIYAMA YASUYUKI
HAYASHI TAKAYOSHI
HIRABAYASHI KATSUHIKO

(30)Priority

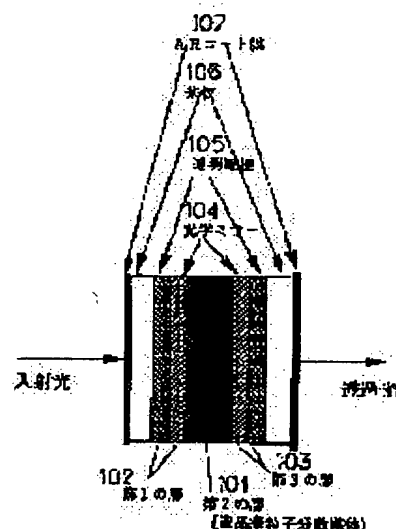
Priority number : 09205896 Priority date : 31.07.1997 Priority country : JP

(54) WAVELENGTH VARIABLE FILTER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a wavelength variable filter with which has no dependence on polarization, is high in a response speed and allows high-speed tuning by using a material dispersed with liquid crystal droplets below 150 nm in a light transparent medium as a cavity.

SOLUTION: This Fabry-Perot etalon type wavelength variable filter includes the multilayered films formed by laminating first layers 102 which consist of transparent electrodes 105 and optical mirror layers 104, second layers 101 which consist of a material changed in its refractive index by an electric field and third layers 103 which consist of the transparent electrodes and the optical mirror layers in this order. The material which changed in its refractive index by the electric field is a material formed by dispersing the liquid crystal droplets of $\leq 150\text{ nm}$ in diameter into the light transparent medium, such as polymer or quartz glass.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 25.01.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3281603

[Date of registration] 22.02.2002

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 1 1 - 1 1 9 1 8 6

(43) 公開日 平成11年(1999)4月30日

(51) Int. Cl. ⁶

識別記号

F I

G 0 2 F 1/13
G 0 2 B 5/28
G 0 2 F 1/1333

5 0 5

G 0 2 F 1/13 5 0 5
G 0 2 B 5/28
G 0 2 F 1/1333

審査請求 未請求 請求項の数 1 5

O L

(全 1 9 頁)

(21) 出願番号 特願平10-211029

(22) 出願日 平成10年(1998)7月27日

(31) 優先権主張番号 特願平9-205896

(32) 優先日 平9(1997)7月31日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 松元 史朗

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 阪田 晴三

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 杉山 康之

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 秋田 収喜

最終頁に続く

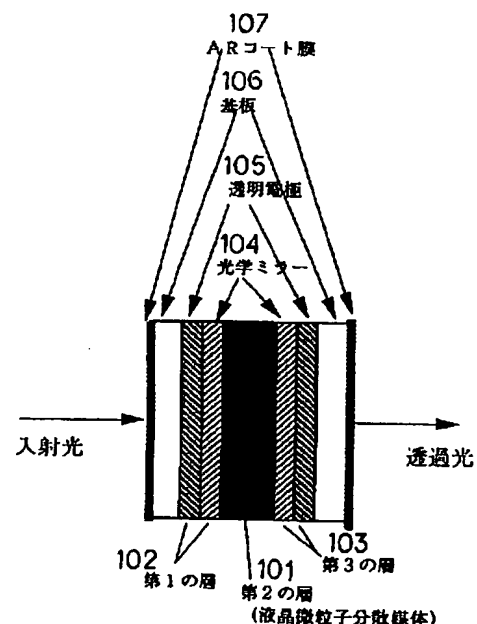
(54) 【発明の名称】 波長可変フィルタ

(57) 【要約】

【課題】 光透過性媒体中に150nm以下の液晶ドロップレットが分散した材料をキャビティーとして用いることにより、偏波依存性がなく、かつ応答速度が速く、高速チューニングが可能となる波長可変フィルタを提供する。

【解決手段】 透明電極(105)と光学ミラー層(104)とからなる第1の層(102)と、電場により屈折率が変化する材料からなる第2の層(101)と、透明電極と光学ミラー層とからなる第3の層(103)とがこの順番で積層されてなる多層膜を含むファブリーペローエタロン型波長可変フィルタであって、電場により屈折率が変化する材料がポリマーあるいは石英ガラス等の光透過性媒体中に直径が150nm以下の液晶ドロップレットが分散されてなる材料であることを特徴とする。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】 透明電極と光学ミラー層とからなる第1の層と、電場により屈折率が変化する材料からなる第2の層と、透明電極と光学ミラー層とからなる第3の層とがこの順番で積層されてなる多層膜を含むファブリーペローエタロン型波長可変フィルタであって、電場により屈折率が変化する材料がポリマーあるいは石英ガラス等の光透過性媒体中に直径が150nm以下の液晶ドロップレットが分散されてなる材料であることを特徴とする波長可変フィルタ。

【請求項2】 前記第2の層と第1の層との界面、あるいは前記第2の層と第3の層との界面に、前記第2の層の屈折率とほぼ等しい透明層を含むことを特徴とする請求項1に記載された波長可変フィルタ。

【請求項3】 前記液晶ドロップレットは、ネマチック液晶ドロップレットであることを特徴とする請求項1または請求項2に記載された波長可変フィルタ。

【請求項4】 前記ポリマーは、可塑剤を含むことを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載された波長可変フィルタ。

【請求項5】 前記ポリマーは、光硬化性ポリマーであることを特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載された波長可変フィルタ。

【請求項6】 前記光硬化性ポリマーは、ポリエンポリチオール系ポリマーであることを特徴とする請求項5に記載された波長可変フィルタ。

【請求項7】 前記透明電極の少なくとも一方が、ストライプ状またはドット状にパターンニングされていることを特徴とする請求項1ないし請求項6のいずれか1項に記載された波長可変フィルタ。

【請求項8】 請求項1ないし請求項7に記載された波長可変フィルタであって、キャビティギャップがそれぞれ異なる2枚以上の波長可変フィルタを積層したことを特徴とする波長可変フィルタ。

【請求項9】 請求項1ないし請求項8に記載された波長可変フィルタをコア拡大ファイバ、またはコア拡大ファイバアレイで挟んだことを特徴とする波長可変フィルタ。

【請求項10】 前記波長可変フィルタの他方の側に設置されるプリズムミラーあるいは平面ミラーを備え、前記波長可変フィルタの一方の側から入射される光ビームまたは光ビームアレイが、前記波長可変フィルタを通過した後、前記プリズムミラーまたは平面ミラーで反射されて前記波長可変フィルタに入射され、前記波長可変フィルタを再度通過した後、前記波長可変フィルタの一方の側から出射されることを特徴とする請求項1ないし請求項7のいずれか1項に記載された波長可変フィルタ。

【請求項11】 前記波長可変フィルタの両側に、互いに位置がずれて設置される2個の平面ミラーを備え、前記波長可変フィルタの一方の側から斜めに入射される光

ビームまたは光ビームアレイが、前記波長可変フィルタを通過した後、前記第1の平面ミラーで反射されて前記波長可変フィルタに入射され、前記波長可変フィルタを再度通過した後、前記第2の平面ミラーで反射されて前記波長可変フィルタに入射され、前記波長可変フィルタを再び通過した後、前記波長可変フィルタの他方の側から出射されることを特徴とする請求項1ないし請求項7のいずれか1項に記載された波長可変フィルタ。

【請求項12】 前記波長可変フィルタの一方の側に設置される平面ミラーを備え、前記波長可変フィルタの一方あるいは他方の側から斜めに入射される光ビームあるいは光ビームアレイが、前記平面ミラーと、前記液晶波長可変フィルタの光学ミラー層との間で多重反射して進行し、その間に、前記波長可変フィルタの透過波長に相当する光ビームあるいは光ビームアレイが、前記波長可変フィルタの他方の側から出射されることを特徴とする請求項1ないし請求項7のいずれか1項に記載された波長可変フィルタ。

【請求項13】 前記波長可変フィルタに、前記光ビームあるいは光ビームアレイを出射する入力側コリメートファイバあるいはコリメートファイバアレイと、前記波長可変フィルタからの光ビームあるいは光ビームアレイが入射される出力側コリメートファイバあるいはコリメートファイバアレイとを、さらに備えることを特徴とする請求項10ないし請求項12のいずれか1項に記載された波長可変フィルタ。

【請求項14】 前記透明電極に、前記第2の層を加熱する電流を流す電流供給手段を備えることを特徴とする請求項1ないし請求項13のいずれか1項に記載された波長可変フィルタ。

【請求項15】 前記透明電極に代えて、前記第2の層を加熱する加熱手段を備えることを特徴とする請求項1ないし請求項13のいずれか1項に記載された波長可変フィルタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長可変フィルタに係わり、特に、波長多重光の中から特定波長の光を選択的に分離する技術に適用して有効な技術に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光ファイバによる光通信は大容量の情報を高速に伝送することができるために、最近急速に実用化されつつある。しかし現時点では、ある特定の波長の光パルスを送信しているのみである。多数の異なる周波数の光パルスを伝送することができれば、さらに大容量の情報を伝送することができる。これを波長多重(WDM)と呼び、現在活発に研究されている。波長多重通信においては多数の波長の光パルスの中から選択的に任意の波長の光のみを選び出す波長可変フィルタが必要と

なる。従来この種のフィルタとして、モータで角度を制御するグレーティングフィルタ、モータで誘電体フィルタを移動させる波長可変フィルタ、ピエゾ素子で共振器長を制御するエタロンフィルタがあるが、機械式制御のため、応答速度が遅く、モジュールが大型となり、また価格が高いという欠点があった。上記の波長可変フィルタの欠点を解決するため、本出願人は、ファブリーペローエタロン内にネマチック液晶を充填し、電圧を印加することによりエタロンの光学的ギャップを可変するようにしたフィルタを考案している（特願平 2 - 4 1 2 7 3 6 号）。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、ネマチック液晶を用いたフィルタは、ネマチック液晶が最高数ミリ秒の応答速度しか持っていないため、これ以上のチューニング速度を実現できないという問題がある。高速なチューニング速度は、高速 LAN における波長分割多重 (WDM) を実現させるには欠かせない特性である。また、液晶を用いたフィルタは電圧による液晶の配向を利用するために、入射する光の偏光状態や偏光面の方向によっては、屈折率の変化が一様でない。したがって、チューニング特性が偏波面によって変化する、いわゆる偏波依存性が生じることになり、実用的な問題が生じる。応答速度をあげるため、カイラルスメチック A 液晶を用いた波長可変フィルタで応答速度 $10 \mu \text{sec}$ の高速な応答を示すことが報告されている。しかしながら、可変幅が狭く、偏波依存性は依然として改善されていない (A. Sneh and K. Johnson, "High-speed continuously tunable liquid crystal filter for WDM network," J. Lightwave Technol. vol. 14, pp. 1067, 1996. 参照)。

【0004】高速光 LAN での WDM の実現のためには、これら 2 つの欠点を改良した、すなわち高速性と偏波依存性のない実用性の高い波長可変フィルタの開発が望まれており、さらに、アレイ化による高密度化、小型化、および低コスト化が望まれている。本発明は、前記従来技術の問題点を解決するためになされたものであり、本発明の目的は、波長可変フィルタにおいて、光透過性媒体中に液晶ドロップレットが分散した材料をキャピティーとして用いることにより、偏波依存性がなく、かつ応答速度が速く、高速チューニングが可能となる技術を提供することにある。また、本発明の他の目的は、波長可変フィルタにおいて、液晶ドロップレットのサイズが小さくなると、液晶ドロップレットの駆動に必要な電圧が大きくなる傾向にあるが、液晶ドロップレットを分散するポリマーにプラスチックの可塑化に効果のある可塑剤を添加することにより、液晶ドロップレットを低電圧で駆動し、電圧あたりの波長可変フィルタの可変幅を大きくすることが可能となる技術を提供することにある。また、本発明の他の目的は、波長可変フィルタにおいて、従来の波長可変フィルタよりも安価であると

ともに、アレイ化した光ファイバ等と組み合わせることにより、高密度化、小型化を図ることが可能となる技術を提供することにある。また、本発明の他の目的は、波長可変フィルタにおいて、波長可変フィルタを多数枚積層することにより、あるいは、平面ミラー、プリズムミラーを用いることにより、スペクトルの改善を図るとともに、波長可変域を全波長域にまで拡大することが可能となる技術を提供することにある。また、本発明の他の目的は、波長可変フィルタにおいて、平面ミラーを用いることにより、簡単に、合・分波器を構成することが可能となる技術を提供することにある。本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述及び添付図面によって明らかにする。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、電圧印加により屈折率が変化する媒体として、光透過性のよいポリマーやガラス中に、粒径サイズが 150nm 以下と極めて小さな液晶ドロップレットを分散させた媒体を用いたことを特徴とする。この小さな液晶ドロップレットはバルク液晶に比べて極めて高速な応答を示す。またこの大きさの液晶ドロップレットは、光通信システムで通常用いられる光の波長に比べて非常に小さいため、散乱体としては働かず、透過ロスが小さい。 150nm 以下の液晶ドロップレットのこれらの高速性と低透過損失性は、散乱を利用した表示用デバイスとして以前から検討されてきた μm オーダの液晶粒子には見られない特性である。

【0006】図 2 は、本発明における、電圧印加により屈折率が変化する媒体の構造と動作原理を説明するための図であり、ナノサイズの液晶ドロップレット 201 に光の入射と同じ方向に電圧を印加したときの液晶ドロップレットのディレクターの向きを誘電異方性が正のネマチック液晶を例にとって模式的に示したものである。なお、図 2 において、202 は高分子層、203 は電極、204 は駆動電源である。電圧を印加しないときは、液晶ドロップレット 201 の向きはそれぞれランダムであり、かつ、液晶ドロップレット 201 の大きさは光の波長よりずっと小さいので、光の波長のオーダでは面内での異方性はない。したがって、入射光のどの偏波に対しても媒体は等価と見なされ、入射光のどの偏波に対しても媒体の屈折率は等しいと見なされる。また、電圧を印加したときは、液晶ドロップレット 201 のディレクターの向きは面に対して垂直になろうとするが、この場合にも、入射光のどの偏波に対しても液晶ドロップレット 201 のディレクターの向きは同じように変化するため、入射光のどの偏波に対しても媒体の屈折率は変化は等しくなる。したがって、電圧による媒体の屈折率の変化には偏波依存性はなく、波長可変フィルタの特性にも偏波依存性は生じない。

【0007】図 1 は、本発明の波長可変フィルタの基本

構造を説明するための図である。同図において、101は第2の層、102は第1の層、103は第3の層、104は光学ミラー（誘電体ミラー）膜、105は透明電極、106は透明基板、107はARコート膜（無反射コート膜）である。透明基板106は通常合成石英の表面荒さ精度 $\lambda/10$ 以下のものが用いられる。この第2の層101は、電場により屈折率が変化する材料であり、ポリマー（高分子）あるいは石英ガラス等の光透過性媒体中に直径が150nm以下の液晶ドロップレットが分散されてなる材料である。この場合に、第2の層101は、使用波長帯で透明である必要がある。図1に示す本発明の波長可変フィルタによれば、第2の層101に電圧を印加しない時、および電圧を印加した時に、第2の層101の屈折率の変化には偏波依存性がないので、本発明の波長可変フィルタの特性にも偏波依存性は生じない。この液晶ドロップレットが分散されるマトリクス媒体は、光透過性の材料であればよく、特に、限定されるものではないが、光透過性がよく光学的に異方性のないポリマー、例えば、PMMA系ポリマー、ポリスチレン系ポリマー、ポリカーボネート系ポリマー、熱硬化あるいは光硬化性のアクリル系ポリマー、エポキシ系ポリマー、ポリウレタン系ポリマー、ポリイソシアネート系、ポリエーテルポリチオール系、またはガラスなどがあげられる。

【0008】この第2の層101を製作する方法としては、マトリクス媒体がポリマーである場合には、例えば、マトリクスポリマーと液晶を有機溶媒に溶解し、溶媒を除くことによって、液晶ドロップレットをマトリクスポリマーから分離させる方法、あるいは、熱硬化性あるいは光硬化性のプレポリマーに液晶を溶解させておき、熱あるいは光照射によって、液晶ドロップレットを硬化したマトリクスポリマーから分離させる方法等のように、ポリマーあるいはポリマー前駆体と液晶の混合物から、液晶を層分離させて得る方法が一般的であるが、光硬化性のポリマーが作製上好ましい。また、いずれの方法にしても、本発明で規定した大きさの液晶ドロップレットを得るには、急速な溶媒の除去あるいは急速なプレポリマーの硬化によって、相分離を急速に行わせる必要がある。一方、マトリクス媒体がガラスの場合は、本発明で規定した液晶ドロップレットの大きさに相当した孔径を有する多孔性のガラスを液晶中に浸漬することによって、作製することができる。

【0009】液晶としては、ネマチック液晶、コレステリック液晶、強誘電性液晶などがあげられるが、配向の変化により屈折率変化の大きいネマチック液晶が望ましい。また、粒状の液晶ドロップレットの大きさは150nm以下が適当である。これは、150nmより大きい場合には液晶ドロップレットと媒体との屈折率差による散乱が大きく、光透過率が十分ではないからであり、また100nm以下ならば散乱ロスがきわめて小さくなる

からである。また、液晶ドロップレットサイズが小さくなると、応答速度は速くなる傾向にあるが、液晶の駆動に必要な電圧が大きくなるので、液晶ドロップレットサイズは実用的な印加電圧が保てる数nm以上であることが望ましい。この小さな液晶ドロップレットはバルク液晶に比べて極めて高速な応答（10 μ sec以下）を示す。またこの大きさの液晶ドロップレットは、光通信システムで通常用いられる光の波長に比べて非常に小さいため、散乱体としては働かず、透過ロスが小さい（1から2dB/cm）。

【0010】第1の層102および第3の層103における、透明電極105と光学ミラー膜104との積層順序は、どちらが前後でも構わないが、望ましくは、光学ミラー膜104が、第2の層101に近いほう、すなわち内側にあることが好ましい。これは、光学ミラー膜104から光学ミラー膜104までの共振部の透過損失を少なくしたほうが性能の良い波長可変フィルタが得られるからである。また、第1の層102および第3の層103の一部を構成する透明電極105は、同じものでも別種のものでも構わず、特に限定されるものではない。透明電極105の材質としては、酸化スズをドーブした酸化インジウムや酸化スズの薄膜を用いることができる。これは、蒸着やスパッタリングにより作製される。さらに、第1の層102および第3の層103の一部を構成する光学ミラー膜104は、同じものでも別種のものでも構わず、所定の波長において所望の反射率が得られるものであればよく、その場合に、反射率として95%程度以上が好ましい。赤外領域用のものとしては、Te-KBr, Al-Ge-SiO₂, Cu-Ge-SiO₂, Au-Ge-SiO₂, TiO₂-SiO₂の多層膜が例としてあげられる。これらは、蒸着やスパッタリングにより作製される。

【0011】図1に示す本発明の波長可変フィルタは、例えば、次のような手順で作製される。始めに、使用波長帯で透明な基板106、例えば、ガラス基板、あるいはPMMAやポリカーボネート等のプラスチック基板を用意し、この基板106上に、透明電極105、光学ミラー膜104膜を積層し、第1の層102（あるいは第3の層103）を形成する。次に、第1の層102（あるいは第3の層103）が形成された基板106上に、光重合あるいは熱重合が可能なプレポリマーと液晶の混合液の膜をスピンコート等の方法により形成する。この状態で、熱あるいは光によりプレポリマーを重合固化させ、相分離により、極小の液晶ドロップレットをポリマー中に生成させる。次に、第1の層102（あるいは第3の層103）上に形成された液晶ドロップレット分散ポリマー膜に、第3の層103（あるいは第1の層102）、即ち、光学ミラー膜104、透明電極105が積層された基板106を重ね密着させて、本実施の形態の波長可変フィルタが作製される。なお、基板106の外

側の表面は、ここでの反射を小さくする意味からARコート膜107で覆われていることが望ましい。

【0012】また、透明電極105と光学ミラー膜104が積層された2枚の基板106を所定の厚さのスペーサを挟んで張り合わせ、スペーサによりつくられた空隙部に光重合あるいは熱重合が可能なプレポリマーと液晶の混合液を満たした後、熱あるいは光によりプレポリマーを重合させ、相分離により、極小の液晶ドロップレットをポリマー中に生成させる方法を用いることもできる。さらに、孔径が150nm以下の多孔性のガラス基板を液晶に浸漬し細孔部を液晶で満たしたものを、光学ミラー膜104、透明電極105が積層された2枚の基板106で挟み、密着固定することによって作製することも可能である。

【0013】図1に示す本発明の波長可変フィルタを構成するそれぞれの膜の界面荒さや厚さ、大きさについては、実用的な範囲内であれば、特に限定されるものではない。しかし、第2の層101の膜厚（キャビティ長）は、共振する光の波長の間隔（以下、FSRと称する。）を決定する重要なファクターであると同時に、分離できる光のスペクトルの半値幅にも影響を与える。したがって、この厚さは、フィルタの可変幅等を考慮して決定されるものであり、普通は、数 μm ～100 μm である。

【0014】図3は、本発明の波長可変フィルタの構造と動作原理を説明するための図である。図3に示す本発明の波長可変フィルタ基本構造は、マトリクス媒体として高分子を使用し、微小な液晶ドロップレット分散ポリマーを、そのキャビティの中に挟んだファブリーペローエタロン型の波長可変フィルタである。同図において、*30

$$\Delta n = k E^2 \quad (E \text{ の単位は } V/\mu\text{m}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

但し、kは比例定数で、液晶ドロップレットの大きさ、液晶ドロップレットの密度に依存する。kは通常 $1 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-4}$ 程度である。また、屈折率変化と波長※

$$\Delta \lambda = 1550 \times \Delta n / n \text{ (nm)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

例えば、 $k = 4 \times 10^{-5}$ の時、20 μm の厚さの微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層に600Vの電圧を印加した場合、30V/ μm の電界がかかり、屈折率変化 Δn は0.036であり、37nmの波長可変が期待できる。但し、この電界は絶縁破壊限界であり、実際には可変幅は400V印加で最大15nm程度が期待できる。即ち、本発明は、透明電極と光学ミラー層とからなる第1の層と、電場により屈折率が変化する材料からなる第2の層と、透明電極と光学ミラー層とからなる第3の層とがこの順番で積層されてなる多層膜を含むファブリーペローエタロン型波長可変フィルタであって、電場により屈折率が変化する材料がポリマーあるいは石英ガラス等の光透過性媒体中に直径が150nm以下の液晶ドロップレットが分散されてなる材料であることを特徴とする。また、本発明は、前記第2の層と第1の層との

*301は150nm以下の粒径を持つネマチック液晶ドロップレット、302は液晶を閉じこめる高分子層、303は光学ミラー（誘電体ミラー）膜、304は透明電極、305は透明基板、306は交流電源である。また、307は電圧無印加時の透過スペクトル、308は電圧印加時の透過スペクトルを示す。図3(a)に示すように、電圧を印加しない場合には、液晶ドロップレット301内の液晶分子はランダムの方角を向き、微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層に入射した光の感じる屈折率は、ネマチック液晶の屈折率(n_o 、 n_e)の平均の屈折率である。また、図3(b)に示すように、電圧を印加すると印加電界方向に液晶分子が揃い、屈折率は n_o に近づいていく。

【0015】通常、波長633nmで、 n_o 、 n_e の値は、1.7174、1.532、平均の屈折率は1.555程度である。したがって、ファブリーペローエタロンの共振波長である透過光の波長は、図3の下側に示すように、電圧を印加しない時の透過光の波長（図3の307）から、短波側の波長（図3の308）にシフトする。微小な液晶ドロップレット分散ポリマーの屈折率変化は、下記(1)式で表わされる(S.Matsumoto, M.Houlbert, T.Hayashi and K.Kubodera, "Fine droplets of LCs in a transparent polymer and their response to an electric field," Appl.phys.Lett., vol.69(8), pp.1044, 1996, および, S.Matsumoto et al; Organic Thin Films for Photonic Applications, Technical Digest, P90 (1997) 参照)。

【0016】

【数1】

※シフト量 $\Delta \lambda$ の関係は以下の式で表わされる。

【0017】

【数2】

界面、あるいは前記第2の層と第3の層との界面に、前記第2の層の屈折率とほぼ等しい透明層を含むことを特徴とする。また、本発明は、前記液晶ドロップレットがネマチック液晶ドロップレットであることを特徴とする。また、本発明は、前記ポリマーが、可塑剤を含むことを特徴とする。また、本発明は、前記ポリマーが、光硬化性ポリマーであることを特徴とする。また、本発明は、前記光硬化性ポリマーが、ポリエンポリチオール系ポリマーであることを特徴とする。また、本発明は、キャビティギャップがそれぞれ異なる2枚以上の前記波長可変フィルタが積層されていることを特徴とする。

【0018】また、本発明は、前記波長可変フィルタの他方の側に設置されるプリズムミラーあるいは平面ミラーを備え、前記波長可変フィルタの一方の側から入射される光ビームまたは光ビームアレイが、前記波長可変フ

フィルタを通過した後、前記プリズムミラーまたは平面ミラーで反射されて前記波長可変フィルタに入射され、前記波長可変フィルタを再び通過した後、前記波長可変フィルタの一方の側から出射されることを特徴とする。また、本発明は、前記波長可変フィルタの両側に、互いに位置がずれて設置される2個の平面ミラーを備え、前記波長可変フィルタの一方の側から斜めに入射される光ビームまたは光ビームアレイが、前記波長可変フィルタを通過した後、前記第1の平面ミラーで反射されて前記波長可変フィルタに入射され、前記波長可変フィルタを再度通過した後、前記第2の平面ミラーで反射されて前記波長可変フィルタに入射され、前記波長可変フィルタを再び通過した後、前記波長可変フィルタの他方の側から出射されることを特徴とする。また、本発明は、前記波長可変フィルタの一方の側に設置される平面ミラーを備え、前記波長可変フィルタの一方あるいは他方の側から斜めに入射される光ビームあるいは光ビームアレイが、前記平面ミラーと、前記液晶波長可変フィルタの光学ミラー層との間で多重反射して進行し、その間に、前記波長可変フィルタの透過波長に相当する光ビームあるいは光ビームアレイが、前記波長可変フィルタの他方の側から出射されることを特徴とする。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、実施の形態を説明するための全図において、同一機能を有するものは同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

【0020】〔実施の形態1〕本発明の実施の形態1の波長可変フィルタは、図3と同様の構造のファブリーペローエタロン型の波長可変フィルタであり、以下の方法により作成される。まず、石英ガラス等の基板（図3の305）上に、ITOからなる透明電極（図3の304）と、光学ミラー膜（図3の303）とを蒸着により積層した基板を用意する。なお、光学ミラー膜は、波長1.5 μ mの光の反射率が97%の誘電体多層膜ミラー膜であり、また、基板の表面研磨精度は $\lambda/10$ 以下が望ましい。この基板上に、液状の紫外線硬化型のプレポリマー（例えば、ノーランド社製NOA81）と、ネマチック液晶（メルク社製BL24）との混合物の膜をスピコート法により形成する。ここで、プレポリマーとネマチック液晶との混合割合は、樹脂100gに対して液晶50gであり、また、膜厚は約20 μ mである。これに、メタルハライドランプを照射し、樹脂を重合硬化させるとともに、樹脂中に液晶ドロップレットを形成させる。これに同種の基板を重ね合わせて、図3と同様の構造のファブリーペローエタロン型の波長可変フィルタを作成する。

【0021】本実施の形態の波長可変フィルタにおいて、基板に垂直にバンド幅の広い1.5 μ m帯のレーザー光を入射したときの透過スペクトルを図4に示す。こ

の透過スペクトルは、入射光の偏光方向を回転しても変化しないことを確認した。透過光のFSRは37.4nmで半値幅0.6nmであった。また、透過ロスは2.37dBであった。

【0022】次に、本実施の形態の波長可変フィルタに電圧を印加し、透過する光の波長の変化を観察した。図5は、本実施の形態の波長可変フィルタの透過する光の波長の電圧依存性を示すグラフである。図5から明らかに、本実施の形態の波長可変フィルタでは、500Vの印加により、透過する光の波長が12.7nmだけ変化することがわかる。また、入射光の偏光方向を回転しても、透過光の波長の変化量は全く変わらなかった。これらの結果は、液晶ドロップレットが分散した材料をキャビティーとして用いたファブリーペローエタロンが偏波依存性のない波長可変フィルタとして機能していることを示している。このフィルタに400Vの矩形パルス印加し、フィルタの応答波形を観察したところ、立ち上がり時間、立ち下がり時間は、数十～数百 μ secと高速な応答を示した。

【0023】〔実施の形態2〕本発明の実施の形態2の波長可変フィルタも、図3と同様の構造のファブリーペローエタロン型の波長可変フィルタであり、以下の方法により作成される。図6は、本実施の形態の波長可変フィルタの製造方法を説明するための図である。始めに、図6(a)に示すように、石英ガラス等の基板601上に、ITOからなる透明電極602と、光学ミラー膜603とを蒸着により積層した基板を用意する。なお、光学ミラー膜603は、波長1.5 μ mの光の反射率が97%の誘電体多層膜ミラー膜であり、また、基板601の表面研磨精度は $\lambda/10$ 以下が望ましい。この基板上に、紫外線硬化型樹脂にネマチック液晶を混合したものを、スピナーで回転塗布し、膜厚が約20 μ mの、紫外線硬化型樹脂とネマチック液晶との混合物の膜を形成する。ここで、紫外線硬化型樹脂とネマチック液晶との混合割合は樹脂100gに対して液晶50gである。これに、メタルハライドランプを用いて均一な紫外線606を照射し、樹脂を重合硬化させるとともに、樹脂（高分子）層605中に液晶ドロップレット604を形成させ、微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層を形成する。次に、図6(b)に示すように、微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層の基板の緑の部分（図に示す607の部分）を削り取る。

【0024】次に、図6(c)に示すように、微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層が削除された部分の一部に接着剤608を塗布し、さらに、その上に対となる基板を、光学ミラー膜603が平行になるように、対向する光学ミラー膜603間で発生する干渉縞を観測しながら、干渉縞が少なくなるように接着する。この対となる基板は、石英ガラス等の基板601上に、ITOからなる透明電極602と、光学ミラー膜603とが蒸着に

より積層された基板である。この場合によっては、上側の基板と微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層の間に空隙ができ、さらに微小な液晶ドロップレット分散ポリマーを削り取った部分607は空隙になる。そのため、図6(d)に示すように、微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層と光学ミラー膜603面の隙間に、微小な液晶ドロップレット分散ポリマーと屈折率の一致した接着剤(またはマッチングオイル)609を毛細管減少で流しこむ。最後に、図6(e)に示すように、周囲を封止剤610で封止する。このように、本実施の形態では、微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層と光学ミラー膜603との一方の界面に、微小な液晶ドロップレット分散ポリマーの屈折率とほぼ等しい透明層(接着剤またはマッチングオイル609)を挿入するようにしたので、不要な光反射を防止して特性の改善を図ることが可能となる。

【0025】[実施の形態3] 前記実施の形態1の波長可変フィルタ、即ち、ナノサイズの液晶ドロップレットを分散させたポリマーをキャビティ材料に用いたファブリペローエタロン型波長可変フィルタにおいては、液晶ドロップレットのサイズが小さくなると、液晶ドロップレットの駆動に必要となる電圧が大きくなる傾向にある。そのため、本実施の形態の波長可変フィルタでは、液晶ドロップレットを分散するポリマーにプラスチックの可塑性に効果のある物質(可塑剤)を添加することにより、液晶ドロップレットを低電圧で駆動し、電圧あたりの波長可変フィルタの変幅を大きくするようにしたものである。この可塑剤としては、例えば、ジブチルフタレート、ジ-n-オクチルフタレート、ジ-(2-エチルヘキシル)フタレート、ジノニルフタレート、ジラウリルフタレート、ブチルベンジルフタレート、アジピン酸ジ(2-エチルヘキシル)、セバシン酸ジ(2-エチルヘキシル)、リン酸トリクレジル、リン酸トリ(2-エチルヘキシル)、ポリエチレングリコールエステル、エポキシ脂肪酸エステル等があげられる。

【0026】本実施の形態の波長可変フィルタは、以下の方法により作成される。まず、石英ガラス等の基板(図3の305)上に、ITOからなる透明電極(図3の304)と、光学ミラー膜(図3の303)とを蒸着により積層した基板を用意する。なお、光学ミラー膜は、波長1.5 μ mの光の反射率が97%の誘電体多層膜ミラー膜であり、また、基板の表面研磨精度は $\lambda/10$ 以下が望ましい。この基板上に、液状の紫外線硬化型のポリエーテル系プレポリマー(例えば、ノーランド社製NOA81)、ネマチック液晶(例えば、メルク社製BL24)、および可塑剤から成る混合物の膜をスピンコート法により形成する。これに、メタルハライドランプを照射し、樹脂を重合硬化させるとともに、樹脂中に液晶ドロップレットを形成させる。これに同種の基板を重ね合わせて、図3と同様の構造のファブリー

ペローエタロン型の波長可変フィルタを作成する。

【0027】本実施の形態の波長可変フィルタを実際に作成し、この作成した波長可変フィルタに電圧を印加し、透過する光の波長シフト量を測定した。測定結果を図7に示す。この図7は、本実施の形態の波長可変フィルタの透過する光の波長シフト量の電圧依存性を示すグラフである。図7において、—●—で示すグラフは、可塑剤としてアジピン酸ジ(2-エチルヘキシル)を添加した本実施の形態の波長可変フィルタ、—□—で示すグラフは、可塑剤としてリン酸トリクレジルを添加した本実施の形態の波長可変フィルタ、—▲—で示すグラフは、可塑剤の添加のない波長可変フィルタ(前記実施の形態1の波長可変フィルタ)である。ここで、可塑剤としてアジピン酸ジ(2-エチルヘキシル)を添加した本実施の形態の波長可変フィルタにおいて、ポリエーテル系プレポリマーとネマチック液晶との混合割合は、樹脂100gに対して液晶60g、ポリエーテル系プレポリマーとアジピン酸ジ(2-エチルヘキシル)との混合割合は、樹脂100gに対して液晶7gであり、また、膜厚は約20 μ mである。同様に、可塑剤としてリン酸トリクレジルを添加した本実施の形態の波長可変フィルタにおいて、ポリエーテル系プレポリマーとネマチック液晶との混合割合は、樹脂100gに対して液晶60g、ポリエーテル系プレポリマーとリン酸トリクレジルとの混合割合は、樹脂100gに対して液晶7gであり、また、膜厚は約20 μ mである。また、可塑剤の添加のない前記実施の形態1の波長可変フィルタにおいて、ポリエーテル系プレポリマーとネマチック液晶との混合割合は、樹脂100gに対して液晶60gであり、また、膜厚は約20 μ mである。この図7から明らかなように、アジピン酸ジ(2-エチルヘキシル)、およびリン酸トリクレジルのような可塑剤を添加した本実施の形態の波長可変フィルタでは、可塑剤を加えない前記実施の形態1の波長可変フィルタに比べて、低電圧で大きな波長シフト量を得ることができる。

【0028】[実施の形態4] 図8は、本発明の他の実施の形態である波長可変フィルタの構成を示す斜視図である。本実施の形態の波長可変フィルタは、本発明の波長可変フィルタが面型デバイスであることを利用したアレイ構成の波長可変フィルタである。同図において、701はアレイ構成の波長可変フィルタ、702、703は光ビームアレイが入出力される光コリメータアレイ、704は入力側ファイバアレイ、705は出力側ファイバアレイである。本実施の形態のアレイ構成の波長可変フィルタ701は、それぞれ透明電極、光学ミラー膜が形成された一対の透明基板間に、電場により屈折率が変化する材料(前記各実施の形態に記載した微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層等)が挟み込まれて構成される。

【0029】図9は、本実施の形態のアレイ構成の波長可変フィルタ701における、一対の透明基板に形成される透明電極パターン例を示す図である。同図において、801は一対の透明基板、802はストライプ状の透明電極、803はマトリクス状に配置された四角形状（以下、□状と称す。）の透明電極、804は基板全面に形成された透明電極、806は□状の透明電極803の端面までの引き出し電極、807は薄膜抵抗、808は個々の□状の透明電極803に印加する電圧を調整する薄膜トランジスタである。図9（a）に示す透明電極パターンでは、ストライプ状の透明電極802が互いに直交するように形成され、当該ストライプ状の透明電極802をマトリクス駆動することにより、当該ストライプ状の透明電極802が交差する点のそれぞれに、独立に電圧を印加することができる。図9（b）に示す透明電極パターンでは、各□状の透明電極803からそれぞれ引き出し電極806が基板端面まで引き出されており、各□状の透明電極803にそれぞれ独立に電圧を印加することができる。

【0030】図9（c）に示す透明電極パターンでは、各□状の透明電極803が薄膜抵抗807で直列に接続されており、先端部の□状の透明電極803と終端部の□状の透明電極803とに印加する電圧が決定されると、各□状の透明電極803に印加される電圧は、各薄膜抵抗807の抵抗値によって決定される。図9（d）に示す透明電極パターンでは、各□状の透明電極803のそれぞれに薄膜トランジスタ808が形成され、行（あるいは列）方向の薄膜トランジスタ808をオンとし、それに合わせて、列（あるいは行）方向の薄膜トランジスタ808のソース（あるいはドレイン）に電圧を印加することにより、各□状の透明電極803に独立に電圧を印加することができる。図9（e）に示す透明電極パターンでは、一方の透明基板801にストライプ状の透明電極802が形成され、各ストライプ状の透明電極802毎に独立に電圧を印加することができる。図9（f）に示す透明電極パターンでは、一方の透明基板801にストライプ状の透明電極802が形成され、このストライプ状の透明電極802は薄膜抵抗807で直列に接続される。したがって、先端部のストライプ状の透明電極802と終端部のストライプ状の透明電極802とに印加する電圧が決定されると、各ストライプ状の透明電極802に印加される電圧は、各薄膜抵抗807の抵抗値によって決定される。

【0031】図10は、本実施の形態の光コリメータアレイ（702、703）の一例の概略構成を示す斜視図である。図10（a）は、1次元の光コリメータアレイを示し、901はファイバアレイ、902は等間隔で形成されたV溝アレイを備えるV溝基板、903はマイクロレンズアレイ、904は出力光ビームアレイである。この光コリメータアレイでは、V溝基板902内のV溝

に光ファイバを並べ、平面マイクロレンズアレイ903をその先端に取り付け、コリメータアレイ化している。また、図10（b）は、2次元の光コリメータアレイを示し、901はファイバアレイ、903はマイクロレンズアレイ、904は出力光ビームアレイ、905はマイクロフェルルールを納める枠、906はマイクロフェルルール、907は光ファイバである。この光コリメータアレイでは、マイクロフェルルール906内に光ファイバ907を挿入し、マイクロフェルルール906を2次元状に並べたものに、平面マイクロレンズアレイ903を装着し、2次元コリメータアレイ化している。このように、本実施の形態では、1枚の波長可変フィルタをアレイ化でき、チャンネル当たりのコストを大幅に削減することが可能である。また従来の液晶波長可変フィルタは、偏波依存性があり応答速度が遅く、実用性に欠けたのに対し、微小な液晶ドロップレット分散ポリマーを用いる液晶波長可変フィルタは偏波無依存、高速応答である等の優れた特徴を有する。

【0032】〔実施の形態5〕図11は、本発明の他の実施の形態である波長可変フィルタの構成を示す要部断面図である。同図において、1001は150nm以下の粒径を持つネマチック液晶ドロップレット、1002は高分子層、1003は光学ミラー（誘電体ミラー）膜、1004は透明電極、1005は透明ガラス基板、1006はARコート膜（無反射コート膜）である。前記各実施の形態で説明した波長可変フィルタは、そのままでは可変幅が10nm程度と小さく、また駆動電圧が500Vと高いという欠点を有している。本実施の形態の波長可変フィルタは、上記欠点を改善するものである。図11（a）に示すように、本実施の形態の波長可変フィルタは、第1の波長可変フィルタ1020と、第2の波長可変フィルタ1021との2枚の波長可変フィルタを重ね合わせたものである。この2枚の波長可変フィルタ（1020、1021）のキャビティギャップは少し異なっている。図11（b）は、積層した波長可変フィルタの個々の1本のスペクトルと積層されたフィルタの1本のスペクトルを示したものである。1007は第1の波長可変フィルタ1020の一本の透過スペクトルの一本を示したものであり、また、1008は第2の波長可変フィルタ1021の一本の透過スペクトルを示したものであり、さらに、1009は2枚のフィルタを通過した一本の透過スペクトルを示したものである。図11から明らかなように、2つの透過スペクトルが重なった場合、出力の透過スペクトルは、急峻になり、クロストークが低減でき、さらにピークの先端部が平坦になることが分かる。この効果は、波長可変フィルタの枚数を多くするほど、スペクトルが急峻になり、クロストークの低減を図ることができる。また、同じ半値幅を持つ1枚のフィルタと比較するとスペクトルの先端部が平坦になり、波長選択のトレランスが大きくなるという利点

がある。

【0033】図11(c)は、キャビティギャップが若干異なる2枚の液晶波長可変フィルタ(1020, 1021)毎の複数の透過スペクトル、その波長可変の様子、およびキャビティギャップが若干異なる2つの液晶波長可変フィルタを2枚積層した波長可変フィルタの1本の透過スペクトルの波長可変の様子を示している。1011は第1の波長可変フィルタ1020の等間隔で現われる透過スペクトル群を示したものであり、また、1012は第2の波長可変フィルタ1021の等間隔で現われる透過スペクトル群を示したものであり、さらに、1013は2枚の波長可変フィルタを重ねた場合の1本の透過スペクトルを示したものである。ファブリーペローエタロン型フィルタでは、図11(c)の上の2つに示すように等間隔の透過波長ピークが現われる。キャビティギャップが大きい方が、ピーク間隔(FSR)が狭い。従って、キャビティギャップが異なる2つの波長可変フィルタ(1020, 1021)は、そのピーク間隔(FSR)が異なる。

【0034】2つの波長可変フィルタ(1020, 1021)の中の1本のピークを同じ波長に合わせると、他の透過ピークは一致しないため、2枚積層した場合、1本の透過ピークのみが現われる。第1波長帯で、2つの透過波長ピークを一致させて可変すると第1波長帯全域に渡って透過波長ピークを可変できる。次に、第2波長帯で同様のことを行くと、第2波長帯全波長域を可変できることになる。同様に第3、第4波長帯でも、可変させることができる。個々の波長可変フィルタは、高々10nmしか可変できないが、キャビティギャップの若干異なる2つの波長可変フィルタを積層することにより、見かけ上数10nmの波長域を可変できる。なお、本実施の形態では、キャビティギャップが異なる2つの波長可変フィルタ(1020, 1021)を2枚積層した例を示したが、3枚以上でも、同様の効果がある。このように、本実施の形態では、波長可変フィルタを多数枚を積層することにより、スペクトルを急峻にしてクロストークの低減を図るとともに、スペクトル先端部の平坦化を図ることが可能となる。また、それぞれのフィルタの透過波長の組み合わせを制御することにより、波長可変幅を大幅に増大することが可能となる。

【0035】[実施の形態6]図12は、本発明の他の実施の形態である波長可変フィルタの構成を示す分解斜視図である。本実施の形態の波長可変フィルタは、前記実施の形態4のファイバアレイコリメータの代わりに、入出力部にコア拡大(TEC)ファイバを用いたものである同図において、1101は光ファイバのコア、1102は透明電極、1103は光学ミラー(誘電体ミラー)膜、1105は微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層、1106はSCコネクタのスリーブ、1107は入力側光ファイバ、1108は出力側光ファイバ、1

109は取り出し電極、1110はフェルール、1111はフェルール1110後部の金属部分、1112は微小な液晶ドロップレット分散ポリマーを充填するためにスリーブ1106にあけた穴である。この透明電極1102はフェルール1110全体を覆い金属部1111につながっている。コア拡大ファイバをギャップを設けて対向させた場合、そのギャップが数10 μ mから100 μ m程度の場合には、非常に低いカップリングロスで、レンズなしで、フリースペースに光を伝搬させて、光ファイバ間の光のカップリングが可能である。この特性を利用し、TECファイバとSCコネクタのスリーブ1106を用いて超小型波長可変フィルタを実現できる。

【0036】本実施の形態の波長可変フィルタは、以下のようにして作成される。まず、TECファイバ(1107, 1108)をフェルール1110に挿入し先端を研磨する。次に、スパッタ装置内でフェルール1110全体及びフェルール1110後部の金属部分1111を覆うように、ITOからなる透明電極1102を形成する。次に、フェルール1110およびTECファイバ(1107, 1108)の先端に光学ミラー膜1103をコートする。次に、SCコネクタのスリーブ1106の両側から、入力側光ファイバ1107および出力側光ファイバ1108のフェルール1110を挿入し、そのギャップが平行で数 μ mから数10 μ mになるように調整する。次に、SCコネクタのスリーブ1106の上の液晶挿入用の穴1112から、紫外線硬化型樹脂に液晶を混合したものを挿入し、紫外線照射によって樹脂を硬化させるとともに液晶ドロップレットを分散させる。さらに、フェルール1110後部の金属部分1111に取り出し電極1109を取り付ける。このように、本実施の形態では、コア拡大ファイバとSCコネクタを用いて、構造が単純な偏波無依存、高速変調可変フィルタを、簡単に、かつ低コストで製作することが可能となる。

【0037】[実施の形態7]本発明の他の実施の形態である波長可変フィルタは、TECファイバで構成されるファイバアレイを用いたアレイ構成の波長可変フィルタである。図13は、本実施の形態のアレイ構成の波長可変フィルタの製造方法を説明するための図である。以下、図13を用いて、本実施の形態の波長可変フィルタの製造方法を説明する。始めに、図13(a)に示すように、TECファイバ1201を用意し、そのコア拡大部で切断し、その端面を研磨する。次に、スパッタ法により、コア拡大ファイバの先端部およびそこから数cmに渡った部分を覆うようにITOからなる透明電極1202を形成する。さらに、TECファイバ1201の先端部分に光学ミラー(誘電体ミラー)膜1203を形成する。次に、図13(b)に示すように、等間隔で形成されたV溝アレイを備えるV溝基板1204を用意し、V溝基板1204のV溝に、TECファイバ1201

を、TECファイバ1201とV溝基板1204の端面とが同じ面になるように配列し、接着剤で接着・固定する。次に、図13(c)に示すように、V溝基板1204のV溝にTECファイバ1201が配列・固定されたファイバアレイを2個用意し、当該2個のファイバアレイを、スペーサ1205を挟んで対向させ、TECファイバ1201の軸が一致し、対向面が平行になるように調整し、固定する。その際のギャップは20から30 μ mとする。次に、図13(d)に示すように、スペーサ1205により形成されるギャップの中に紫外線硬化型樹脂とネマチック液晶を混合したものを流し込み、紫外線を照射して、固化させ、微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層1206を形成する。また、TECファイバ1201の側面に取り出し電極1207を取り付ける。このように、本実施の形態では、コア拡大ファイバで構成されるファイバアレイを用いて、構造が単純で、アレイ構成の偏波無依存、高速変調可変フィルタを、簡単に、かつ低コストで製作することが可能となる。

【0038】〔実施の形態8〕図14は、本発明の他の実施の形態である波長可変フィルタの構成を示す要部断面図である。本実施の形態の波長可変フィルタは、1枚の波長可変フィルタとミラー膜とを組み合わせ、前記実施の形態5と同様、スペクトルの急峻化、クロストークの低減化、ピーク先端部の平坦化を図ったものである。同図において、1301は150nm以下の液晶ドロップレットを持つ微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層を備える波長可変フィルタ、1302はプリズムミラー、1303は入力側コリメートファイバ、1304は出力側コリメートファイバ、1305は平面ミラーである。図14(a)はプリズムミラー1304を用いた場合を示し、図14(b)は平面ミラー1305を用いた場合を示している。両者とも入射した光ビームはミラー(1304、1305)によって反射されて、2枚積層したのと同じ効果がある。但し、図14(b)では、光ビームが波長可変フィルタ1301に対して斜めに入射するため、若干の偏波依存性(0.数dB以下)が生じるが、これは大きな問題とはならない。また、斜め入射のため微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層の屈折率変化に伴って屈折角が変化し、出射ビームの位置ずれが生ずるが、波長可変フィルタの厚み約5mmに対しビーム径は200 μ mあり、角度として約2度の余裕があり、図14(b)において、入射角は88度から89度で組むためビームの位置ずれはほとんど問題にならない。

【0039】図14(c)は、2枚の位置を若干ずらした平面ミラー1305で、波長可変フィルタ1301を挟み、光ビームが、若干傾いて波長可変フィルタ1301に入射され、2枚の位置を若干ずらした平面ミラー1305で2回反射されて、計3回波長可変フィルタ1301を通過する構造となっている。これにより、1枚の

波長可変フィルタ1301で3枚の波長可変フィルタ1301にフィルタを重ねた効果がある。ここでは、コリメートファイバは1本のみを示したが、フィルタアレイとコリメートファイバアレイを用いて、アレイ化しても同様の効果がある。このように、本実施の形態では、平面ミラー、プリズムミラーを用いることにより、入射光が波長可変フィルタを通過する回数を2回以上として、スペクトルを急峻にしてクロストークの低減を図るとともに、スペクトル先端部の平坦化を図ることが可能となる。

【0040】〔実施の形態9〕図15は、本発明の他の実施の形態である波長可変フィルタの構成を示す要部断面図である。本実施の形態は、微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層を備える波長可変フィルタを用いて、可変の合・分波器を作成したものである。同図において、1401はアレイ化された微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層を備える波長可変フィルタ、1402は入力側コリメートファイバ、1403は出力側コリメートファイバアレイ、1404は波長可変フィルタ1401を通過した光ビーム、1405は平面ミラーである。本実施の形態では、アレイ構成の波長可変フィルタ1401に、入力側コリメートファイバ1402から若干斜めに光ビームが入射する。波長可変フィルタ1401の透過ピークに一致した波長の光は波長可変フィルタ1401を通過して、出力側コリメートファイバアレイ1403に入る。

【0041】一致しなかった光は、該波長可変フィルタ1401で反射され、さらに平面ミラー1405で再度反射されて、波長可変フィルタ1401に入る。同様に、2番目の波長可変フィルタ1401の波長に一致した波長の光のみが通過し、残りは反射される。同様のことが繰り返される。このようにして、入射光は出射側のコリメートファイバアレイ1403に分波される。微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層を備えるアレイ構成の波長可変フィルタ1401の個々の電極には、独立に電圧を印加できるので、該合・分波器は可変に波長を設定できる。なお、本実施の形態では、入射側に、コリメートファイバを用いることを示したが、コリメートファイバアレイであっても同様の効果が得られる。

【0042】〔実施の形態10〕図16は、本発明の他の実施の形態である波長可変フィルタの概略構成を示す要部断面図である。同図において、1501は薄膜抵抗、1502は電流源、1503はヒータ、1504は液晶ドロップレット、1505は高分子層、1506は光学ミラー膜、1507は透明電極、1508は基板である。前記各実施の形態では、透明電極間に高電圧を印加することにより、透過波長を変化させていた。しかしながら、この高電圧として、数100Vと高い電圧が必要である。本実施の形態の波長可変フィルタは、温度を変化させることにより、透過波長を可変するようにした

ものである。図 16 (a) に示す波長可変フィルタは、通常の構造の微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層を備える波長可変フィルタの片方または両方の透明電極 1507 に電流を流すことにより、微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層の温度を上げ、これにより、微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層の屈折率を変化させて、透過波長を変化させるようにしたものである。図 16 (b) に示す波長可変フィルタは、通常の構造の微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層を備える波長可変フィルタにおいて、透明電極の代わりに、窓を開けた薄膜抵抗 1501 を蒸着し、この薄膜抵抗 1501 に電流を流すことにより、微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層の温度を上げ、これにより、微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層の屈折率を変化させて、透過波長を変化させるようにしたものである。図 16 (c) に示す波長可変フィルタは、透明電極を持たない微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層を備える波長可変フィルタの外側にヒータ 1503 を取り付け、このヒータ 1503 に電流を流すことにより、微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層の温度を上げ、これにより、微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層の屈折率を変化させて、透過波長を変化させるようにしたものである。以上、本発明者によってなされた発明を、前記実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は、前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々変更可能であることは勿論である。

【0043】

【発明の効果】本願において開示される発明のうち代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば、下記の通りである。

(1) 本発明によれば、光透過性媒体中に液晶ドロップレットが分散した材料をキャビティーとして用いることにより、偏波依存性がなく、かつ応答速度が速く、高速チューニングが可能となる。

(2) 本発明によれば、液晶ドロップレットを分散するポリマーに可塑剤を添加するようにしたので、液晶ドロップレットを低電圧で駆動でき、電圧あたりの波長可変フィルタの可変幅を大きくすることができる。

(3) 本発明によれば、従来の波長可変フィルタよりも安価であるとともに、アレイ化した光ファイバ等と組み合わせることにより、高密度化、小型化を図ることが可能となる。

(4) 本発明によれば、波長可変フィルタを多数枚積層することにより、あるいは、平面ミラー、プリズムミラーを用いることにより、スペクトルの改善を図るとともに、波長可変域を全波長域にまで拡大することが可能となる。

(5) 本発明によれば、平面ミラーを用いることにより、簡単に、合・分波器を構成することが可能となる。

(6) 本発明によれば、高速 RAN の波長多重伝送シス

テムを構築することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の波長可変フィルタの基本構造を説明するための図である。

【図 2】本発明における、電圧印加により屈折率が変化する媒体の構造と動作原理を説明するための図である。

【図 3】本発明の波長可変フィルタの構造と動作原理を説明するための図である。

【図 4】本発明の実施の形態 1 の波長可変フィルタの透過スペクトルを示すグラフである。

【図 5】本実施の形態 1 の波長可変フィルタの透過する光の波長の電圧依存性を示すグラフである。

【図 6】本発明の実施の形態 2 の波長可変フィルタの製造方法を説明するための図である。

【図 7】本発明の実施の形態 3 の波長可変フィルタの一例の透過する光の波長シフト量の電圧依存性を示すグラフである。

【図 8】本発明の実施の形態 4 の波長可変フィルタの構成を示す斜視図である。

【図 9】本実施の形態 4 のアレイ構成の波長可変フィルタにおける、一対の透明基板に形成される透明電極パターン例を示す図である。

【図 10】本実施の形態 4 の光コリメータアレイの一例の概略構成を示す斜視図である。

【図 11】本発明の実施の形態 5 の波長可変フィルタの構成を示す要部断面図である。

【図 12】本発明の実施の形態 6 の波長可変フィルタの構成を示す分解斜視図である。

【図 13】本発明の実施の形態 7 のアレイ構成の波長可変フィルタの製造方法を説明するための図である。

【図 14】本発明の実施の形態 8 の波長可変フィルタの構成を示す要部断面図である。

【図 15】本発明の実施の形態 9 の波長可変フィルタの構成を示す要部断面図である。

【図 16】本発明の実施の形態 10 の波長可変フィルタの概略構成を示す要部断面図である。

【符号の説明】

101…第 2 の層、102…第 1 の層、103…第 3 の層、104、303、603、1003、1103、1203、1506…光学ミラー（誘電体ミラー）膜、105、203、304、602、802、803、804、1004、1102、1202、1507…透明電極、106、305、601、801、1005、1508…基板、107、1006…AR コート膜（無反射コート膜）、201、301、604、1001、1504…液晶ドロップレット、202、302、605、1002、1505…液晶ドロップレットを閉じ込める高分子層、204…駆動電源、606…紫外線、607…微小な液晶ドロップレット分散ポリマー層が削除された部分、608…接着剤、609…マッチングオイル、

21

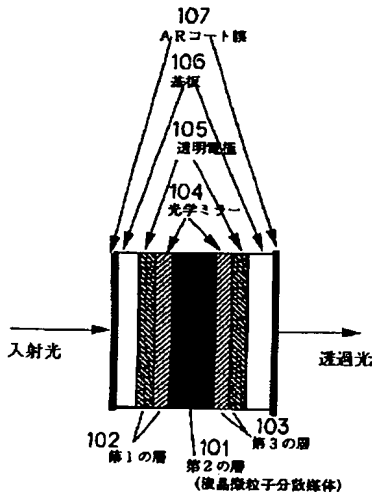
610…封止剤、701, 1020, 1021, 1301, 1401…波長可変フィルタ、702, 703…光コリメータアレイ、704, 705, 901…ファイバアレイ、806…引き出し電極、807…薄膜抵抗、808…薄膜トランジスタ、902, 1204…V溝基板、903…マイクロレンズアレイ、904…光ビームアレイ、905…マイクロフェルールを納める枠、906…マイクロフェルール、907, 1107, 1108…光ファイバ、1101…光ファイバのコア、1105, 1206…微小な液晶ドロップレット分散ポリマー

22

層、1106…SCコネクタのスリーブ、1109, 1207…取り出し電極、1110…フェルール、1111…フェルール1110後部の金属部分、1112…スリーブ1106にあけた穴、1201…TECファイバ、1205…スペーサ、1302…プリズムミラー、1303, 1304, 1402…コリメートファイバ、1305, 1405…平面ミラー、1403…コリメートファイバアレイ、1501…薄膜抵抗、1502…電流源、1503…ヒータ。

【図1】

図1

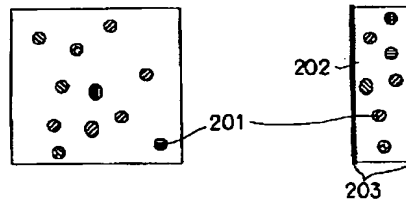


【図2】

図2

光の入射方向から見た図

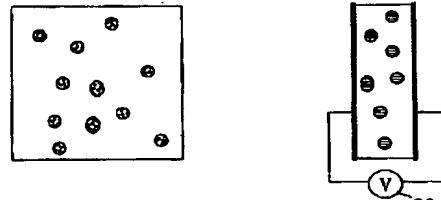
光の入射と垂直な方向から見た図



(a) 電場が印加されていない時

光の入射方向から見た図

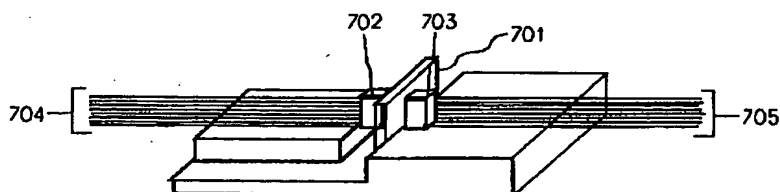
光の入射と垂直な方向から見た図



(b) 光の入射方向と平行な電場が印加された時

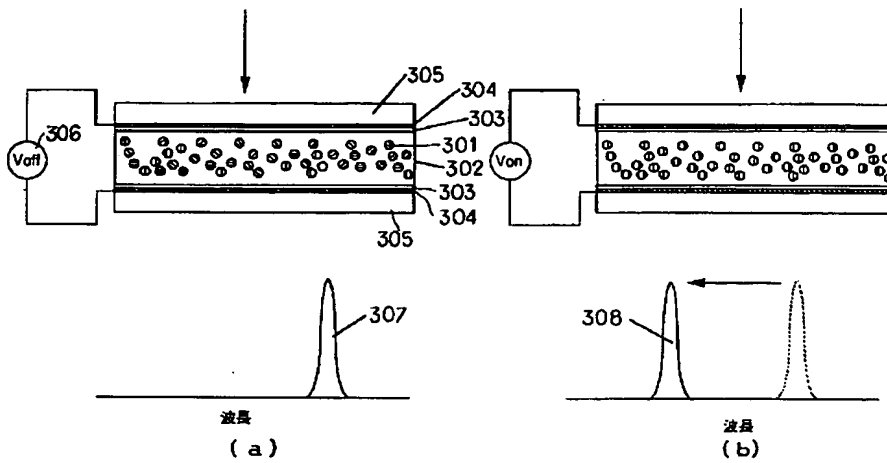
【図8】

図8



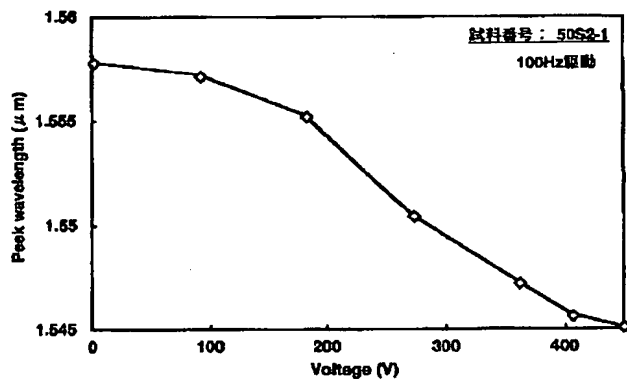
【図 3】

図 3



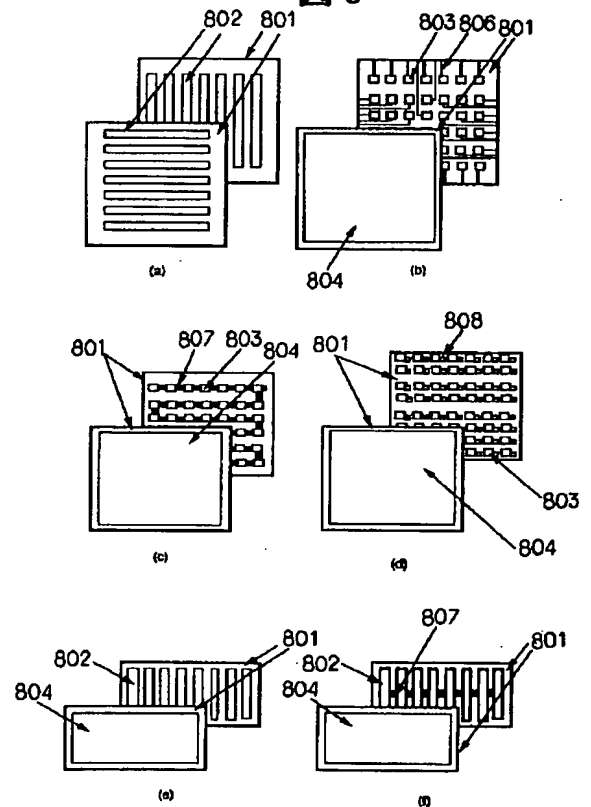
【図 5】

図 5



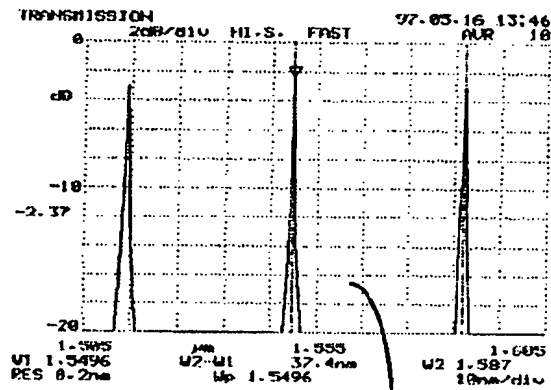
【図 9】

図 9



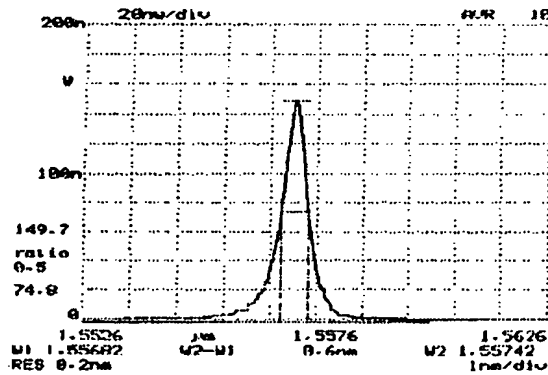
【図4】

図4



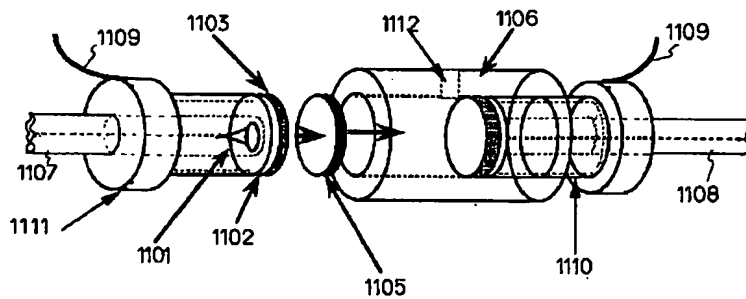
試料番号：50S2-1

Loss 2.37dB
FSR 37.4nm
Half width 0.6nm
finesse 62.3
可変幅：12.7nm



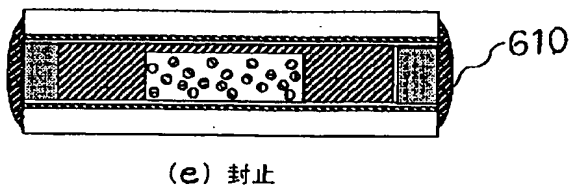
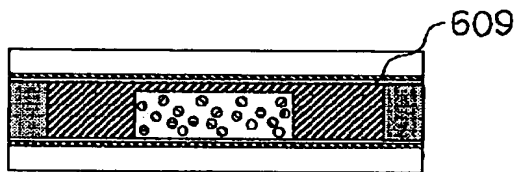
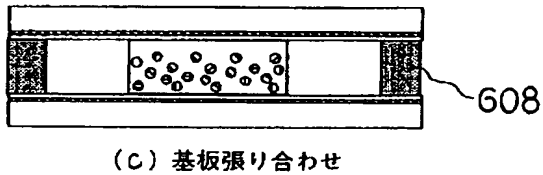
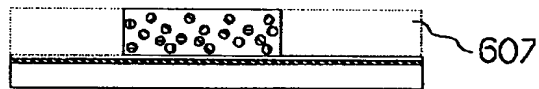
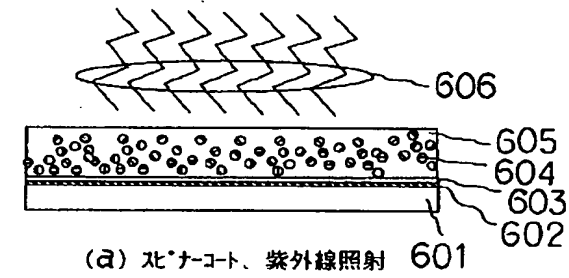
【図12】

図12



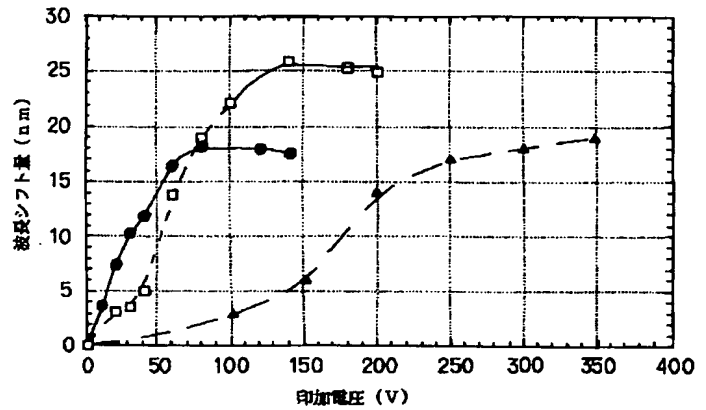
【図6】

図6



【図7】

図7



【図10】

図10

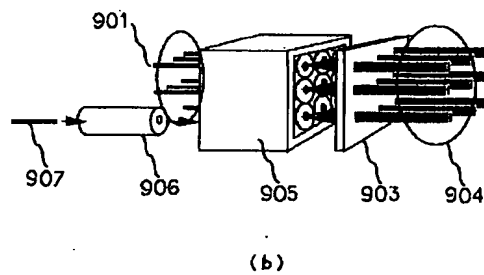
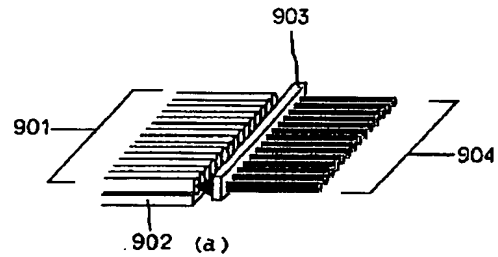
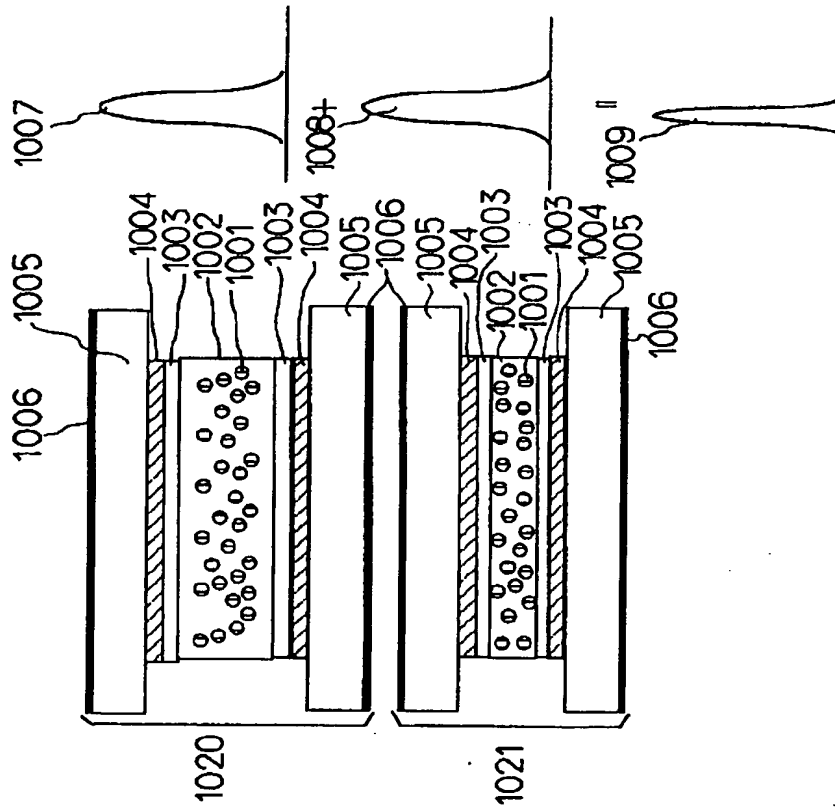


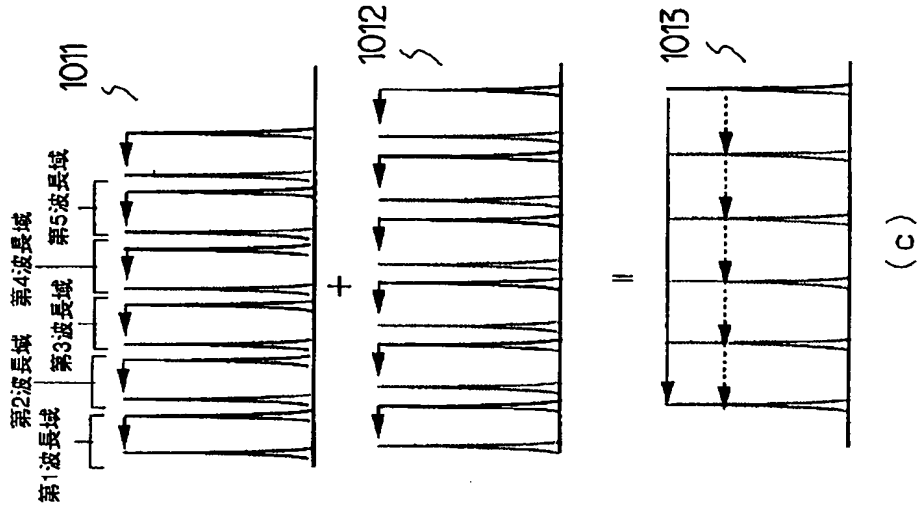
図11



(a)

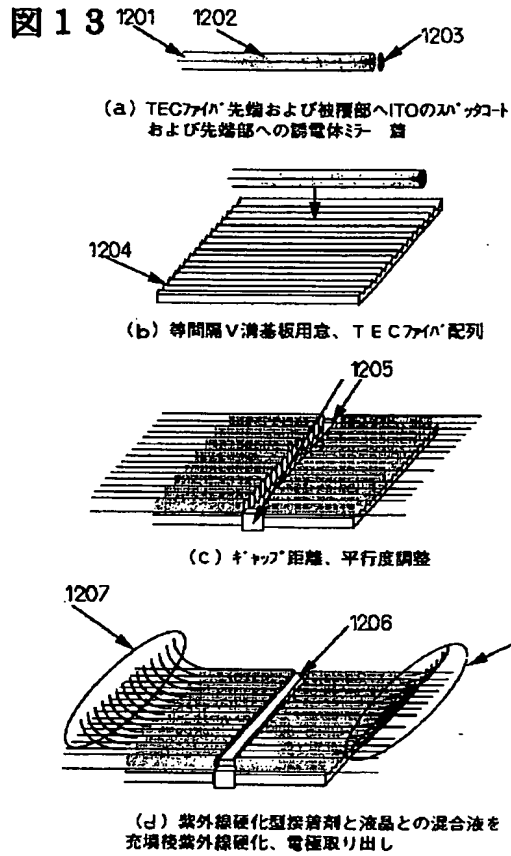
(b)

【図11】

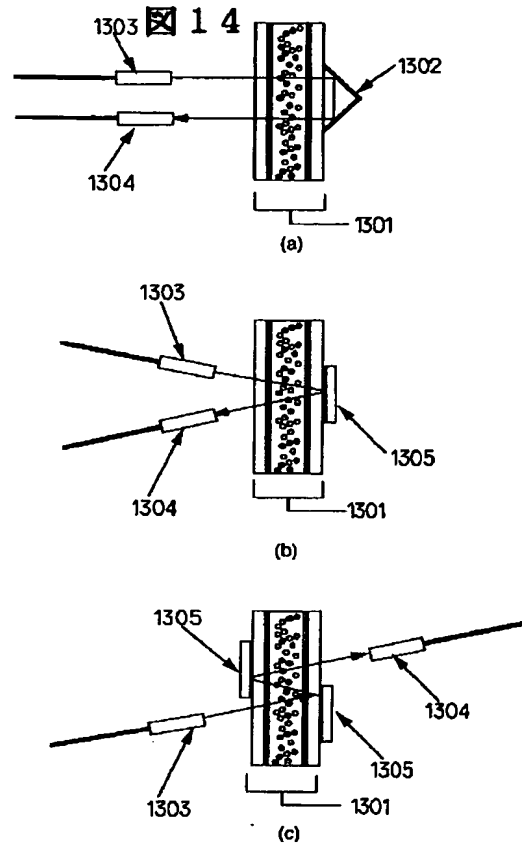


(c)

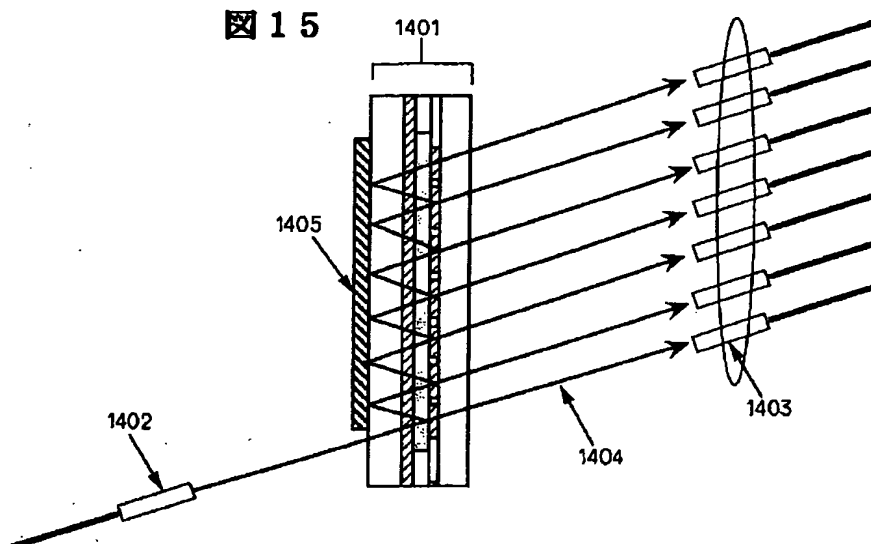
【図13】



【図14】

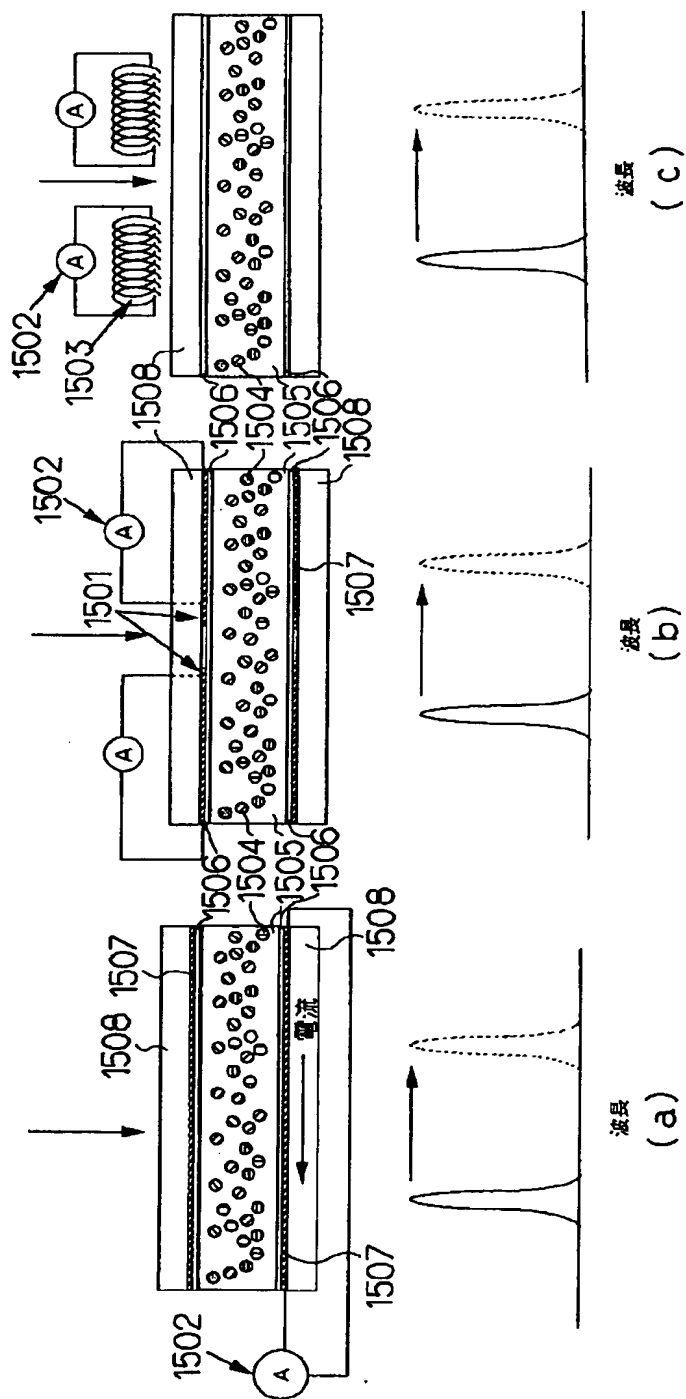


【図15】



【図16】

図16



フロントページの続き

(72) 発明者 林 孝好
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 平林 克彦
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内